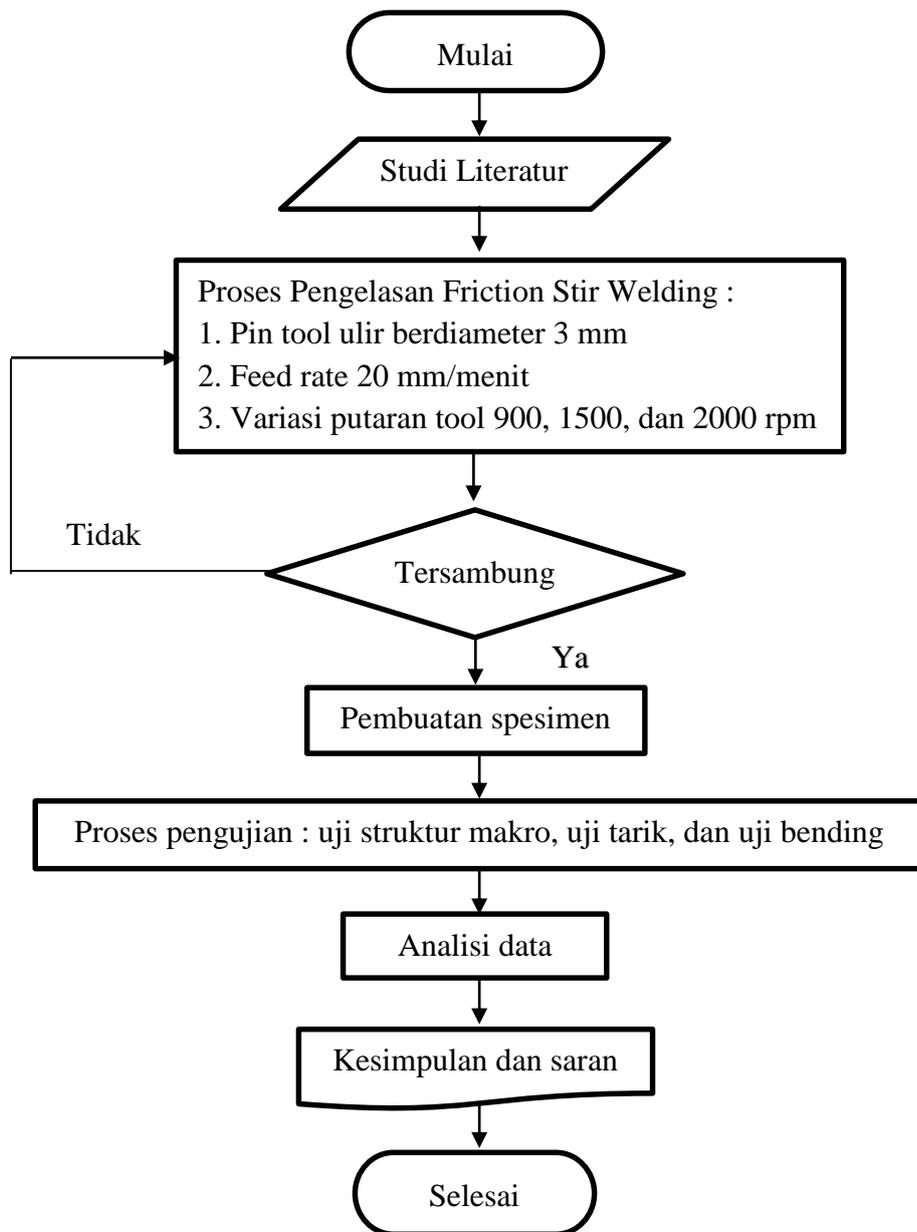


BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, ada beberapa langkah yang dilakukan. Adapun langkah-langkah dalam proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian *Friction Stir Welding*

3.2. Pengadaan Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Penelitian

1. Mesin Milling

Mesin milling yang digunakan dalam penelitian ini ialah mesin milling vertikal model FM-2SK Chevalier seperti yang terlihat di Gambar 3.2 yang digunakan untuk proses pengelasan *friction stir welding*. Mesin ini memiliki fitur penggerak dan puli yang seimbang secara dinamis, memiliki 3 sumbu, 400 mm untuk sumbu Y, 370 mm untuk sumbu Z dan 901 mm untuk sumbu X. Pengoperasian mesin menggunakan energi listrik yang dirubah menjadi energi gerak berupa putaran oleh motor listrik yang kemudian diteruskan ke transmisi berupa puli untuk menyesuaikan putaran yang diinginkan. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



Gambar 3.2 Mesin Milling Vertikal

2. Alat Uji Struktur Makro

Alat uji struktur makro yang digunakan pada penelitian ini menggunakan mikroskop optik usb merk CMP 022 dengan perbesaran 50-500 yang dihubungkan dengan komputer sebagai penangkap gambar seperti yang terlihat pada Gambar 3.3. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan di rumah kontrakan penulis.



Gambar 3.3 Alat Uji Struktur Makro

3. Alat Uji Tarik

Alat uji tarik ini merupakan salah satu alat uji sifat mekanik untuk mengetahui kekuatan material terhadap gaya tarik. Pada penelitian ini menggunakan alat Zwick/Roell Z020 buatan Jerman seperti pada Gambar 3.4. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Akademi Teknik Mesin Industri Surakarta.



Gambar 3.4 Alat Uji Tarik dan Uji Bending

4. Alat Uji Bending

Alat uji bending merupakan alat untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las. Penggunaan alat ini bertempat di Laboratorium Akademi Teknik Mesin Industri Surakarta. Alat ini sama seperti alat uji tarik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4, yang membedakan hanya penggantian tool pada alat tersebut. Tabel 3.1 menunjukkan spesifikasi dari alat uji tarik dan bending.

Tabel 3.1 Spesifikasi alat uji tarik/uji bending Zwick Roell

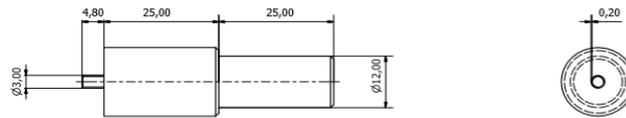
Tipe	Z020
Pabrikan	<i>Zwick/Roell (germany) tahun 2007</i>
Fungsi	<i>Tensile, compression, flexural, computer controlled universal materials testing machine, interlaminar, tear tests.</i>
Kisaran kecepatan	0.001-750 mm/min
Kapasitas beban	-20 – +20
Perlengkapan	<i>Tensile Head (10 kN) 3 point bending head 4 point bending head Zwick TestXpert 11.0 Program</i>

5. Pin Tool

Pin tool adalah sebuah alat yang dilengkapi dengan silinder yang menonjol yang disebut pin, dan silinder luar yang lebih besar disebut shoulder digunakan untuk mengaduk dua material sehingga bisa tersambung. Pada penelitian ini, penulis menggunakan bentuk pin tool silinder ulir berdiameter 3 mm. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.5, kemudian pada Gambar 3.6 menunjukkan gambar teknik dari pin toolnya.



Gambar 3.5 Pin tool silinder ulir 3 mm



Gambar 3.6 Gambar sketsa pin tool silinder diameter 3 mm

5. Gerinda

Gerinda adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk mengasah/memotong ataupun menggerus benda kerja dengan tujuan atau kebutuhan tertentu. Prinsip kerja mesin gerinda adalah batu gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja sehingga terjadi pengikisan, penajaman, pengasahan, atau pemotongan. Gerinda ini dipakai untuk memotong bahan awal HDPE sampai sesuai dengan ukuran bahan yang akan dilas pada proses FSW. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Gerinda

6. Tachometer

Tachometer adalah suatu alat uji yang dibuat dan didesain untuk mengukur kecepatan putaran pada sebuah objek, seperti halnya dengan alat yang mengukur putaran mesin per menit (RPM) pada kendaraan bermotor. Tachometer ini digunakan untuk mengukur kecepatan putaran spindle

pada mesin milling ketika proses FSW. Tachometer yang digunakan pada saat proses FSW terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tachometer

7. Amplas

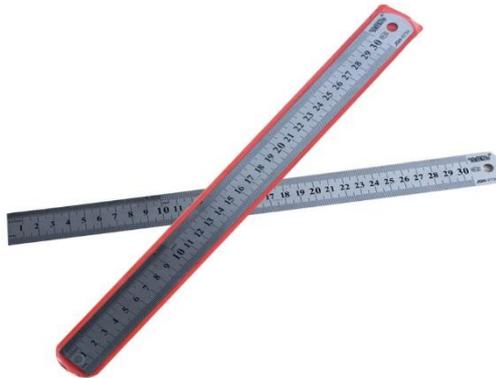
Amplas adalah sejenis alat kerja yang terbuat dari kertas atau kain yang telah ditambahkan dengan bahan yang kasar seperti butiran pasir sehingga kadang-kadang disebut juga dengan kertas pasir. Amplas berfungsi untuk membuat permukaan benda yang kasar menjadi lebih halus dengan cara menggosokkan permukaan kasarnya ke permukaan suatu bahan atau benda. Amplas pada penelitian ini digunakan untuk menghaluskan bagian dari bahan HDPE yang akan dilas. Amplas yang digunakan ialah berupa *silicon carbide* dengan nilai kekasaran 150 seperti yang terlihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Amplas *Silicon Carbide*

8. Penggaris

Penggaris atau mistar adalah sebuah alat pengukur dan alat bantu gambar untuk menggambar garis lurus. Terdapat berbagai macam penggaris, dari mulai yang lurus sampai yang berbentuk segitiga. Penggaris yang digunakan pada penelitian ini menggunakan penggaris lurus untuk mengukur bahan HDPE yang akan dipotong. Seperti pada Gambar 3.10

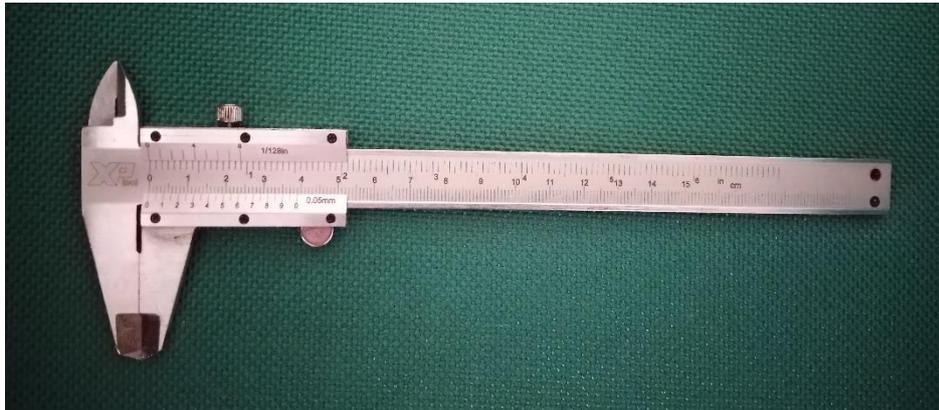


Gambar 3.10 Penggaris Lurus

9. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur ketebalan, kedalaman dan diameter dalam pada suatu benda. Seperti pada Gambar

3.11, jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan spesimen dan kedalaman pengelasan pada penelitian ini.



Gambar 3.11 Jangka sorong

10. Feeler Gauge

Feeler gauge merupakan alat yang digunakan untuk mengukur celah diantara dua benda, pada penelitian ini digunakan untuk mengukur celah *depth of plunge* pada proses FSW seperti ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Feeler Gauge

11. Stopwatch

Stopwatch adalah alat yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang diperlukan dalam kegiatan. Pada penelitian ini smartphone penulis dijadikan sebagai stopwatch yang digunakan untuk menghitung berapa lama waktu yang dibutuhkan pada saat proses FSW untuk satu sambungan. Seperti terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Smartphone untuk stopwatch pada saat proses FSW

12. Water Jet

Water jet adalah alat pemotong yang bekerja dengan menyembrotkan air bertekanan dan berkecepatan tinggi ke permukaan benda kerja. Mesin Waterjet menggunakan nozzle berdiameter lubang 0,1 sampai 0,4mm, untuk mendapatkan konsentrasi yang kuat sehingga dapat mengikis permukaan benda kerja. Water jet ini digunakan untuk memotong hasil bahan las yang akan diuji tarik dan uji bending dengan ukuran standar yang sudah ditentukan. Penulis menggunakan jasa dari Citra Jogja Kreasi yang memang menyediakan jasa untuk memotong benda menggunakan Water Jet.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah material polimer termoplastik yaitu *high density polyethylene* (HDPE) dengan ketebalan 5 mm seperti yang terlihat pada Gambar 3.14. Adapun sifat fisik dan kimia dari HDPE ditunjukkan pada Tabel 3.1.



Gambar 3.14 Spesimen HDPE

Tabel 3.1 Karakteristik HDPE

(W.billmeyer Fred,JR, Text Book Of Polymer Science,hal.478)

Sifat fisik dan mekanik	Keterangan
Massa jenis(g/cm ³)	0,941-0,965
Temperatur melting (°C)	137
Temperatur glass (°C)	-90
Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	2,1-3,8
Perpanjangan (%)	15-100
Modulus elastis (kgf/mm ² x10 ²)	0,4-1
Kekuatan tekan (kgf/mm ²)	2,2
Kekuatan Impack (kgm/mm ²)	0,00425-0,0744

3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini mempunyai dua kegiatan utama, yaitu proses pembuatan spesimen dan proses pengujian spesimen. Waktu penelitian dimulai pada 1 Oktober 2018 sampai 22 Maret 2019. Beberapa tempat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Proses pemotongan bahan awal dilakukan di rumah kontrakan penulis menggunakan mesin gerinda.
2. Proses pengelasan *friction stir welding* dilakukan di Laboratorium Fabrikasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
3. Pembuatan spesimen uji tarik dan uji bending dilakukan di Citra Jogja Kreasi.
4. Pengujian Tarik dan pengujian bending dilakukan di Laboratorium Politeknik ATMI Surakarta.
5. Pengujian struktur makro dilakukan di rumah kontrakan penulis.

3.4. Proses Penelitian

3.4.1. Proses Pembuatan Tool

Proses pembuatan tool diawali dengan memilih bahan, pada penelitian ini dipilih bahan baja ST 42, baja karbon rendah sebagai material utama pembuatan tool. Selanjutnya pembuatan desain tool dengan menggunakan software Autodesk Inventor 2017 seperti terlihat pada Gambar 3.6, kemudian proses pembuatan tool dilakukan di Jasatec, Yogyakarta. Dimensi tool bisa dilihat pada Gambar 3.6, untuk shoulder dibuat panjang dengan sengaja untuk mengantisipasi kerusakan pada tool ketika sedang melakukan proses pengelasan.

3.4.2. Proses Pengelasan

Pada penelitian ini, proses FSW menggunakan dua parameter tetap yaitu *feed rate* 20 mm/menit, tool silinder ulir berdiameter 3 mm dan menggunakan satu variasi parameter yaitu kecepatan rotasi spindle dengan 3 variasi dimuali yang terendah 900 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm. Pada Gambar 3.15 terlihat proses FSW berlangsung.



Gambar 3.15 Proses FSW

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam proses FSW, yaitu :

1. Menyalakan kontak arus listrik pada MCB dengan objek Mesin *Milling*.
2. Menyetel belt ke puli untuk menyesuaikan putaran spindle yang diinginkan. Pada proses pengelasan pertama, dimulai dengan rpm terendah yaitu 900 rpm dengan posisi belt berada pada puli terbawah di mesin milling.
3. Memasang cekam pada meja kerja dengan menggunakan kunci 17.
4. Memasang tool pada *spindle* dengan *collet* yang sesuai dengan ukuran tool yang akan dipakai, lalu dikencangkan menggunakan kunci *collet*.
5. Memasang benda kerja pada meja kerja yang dijepit dengan pencekam, kemudian meluruskan benda kerja yang akan dilas pada pin tool supaya posisinya center pada saat proses FSW berlangsung.
6. Menyetel *feed rate* pada angka 20 mm/menit dengan gerak otomatis.
7. Menghidupkan mesin milling, kemudian perlahan-lahan menurunkan spindle yang ujungnya terdapat tool kepada benda kerja HDPE dengan *dept of plunge* 0.5 mm.

8. Proses pengelasan berlangsung sekitar 5 menit, setelah proses pengelasan selesai maka matikan laju feed rate pada mesin.
9. Mengangkat tool dalam keadaan spindle masih berputar atau mesin masih hidup, dengan tujuan agar lelehan HDPE tidak menempel pada tool, kemudian matikan mesin.
10. Menunggu beberapa saat agar lelehan hasil pengelasan mengeras dengan sempurna, kemudian lepaskan benda kerja dari pencekam.
11. Mengulangi langkah-langkah diatas dengan mengganti variasi kecepatan putar spindle dengan cara memindahkan belt pada puli yang lebih tinggi pada mesin milling sesuai dengan parameter penelitian ini.

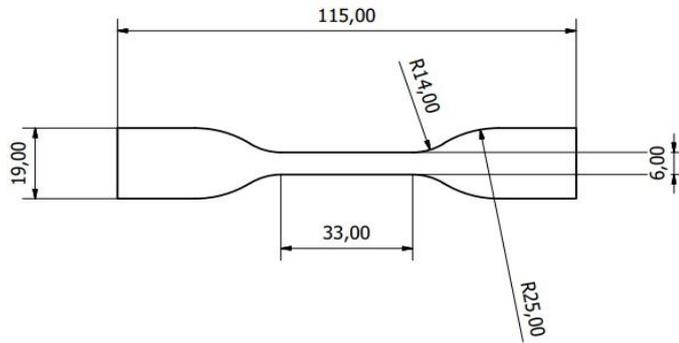
Hasil dari proses pengelasan diatas selanjutnya akan menjadi bahan penelitian tentang pengaruh variasi kecepatan putar tool terhadap sifat mekanik pada hasil pengelasan FSW.

3.5. Persiapan dan Pengujian Spesimen

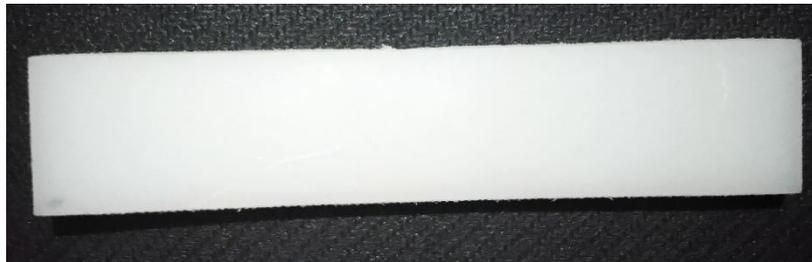
Tahap persiapan spesimen dilakukan setelah semua proses pengelasan selesai. Kemudian material yang sudah tersambung dipotong dan disesuaikan menurut ukuran pengujian yang sudah ditetapkan. Untuk uji tarik menggunakan standar ASTM D638 dan untuk uji bending menggunakan ASTM D790, seperti yang terlihat pada Gambar 3.16 dan 3.17 menunjukkan standar ASTM D638 type IV dan Gambar 3.18 menunjukkan ASTM D790. Untuk pemotongan spesimen, penulis menggunakan jasa *cutting* di Citra Jogja Kreasi yang menggunakan Mesin *water jet*.



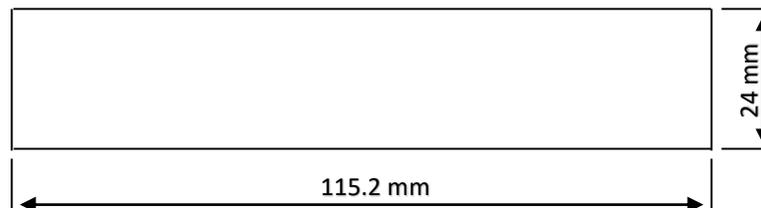
Gambar 3.16 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Type IV



Gambar 3.17 Gambar Sketsa ASTM D638 Type IV



Gambar 3.18 Spesimen Uji Bending ASTM D790



Gambar 3.19 Gambar Sketsa Uji Bending ASTM D790

3.5.1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari suatu material. Kekuatan tarik adalah salahsatu sifat bahan yang dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik bahan ketika mengalami pembebanan, sehingga dapat digunakan pada saat perencanaan dan pemilihan material untuk perhitungan kekuatan struktur dan kebutuhan lainnya.

Pada pelaksanaan pengujian, spesimen HDPE dijepit pada mesin uji kemudian ditarik perlahan-lahan sampai diperoleh beban maksimum dan akhirnya benda uji mengalami patah. Bagian tengah pada bahan uji akan menjadi ciut atau mengecil dari ukuran semula dan terjadi perubahan panjang karena pengaruh gaya tarik. Gambar 3.20 menunjukkan proses pengujian tarik.



Gambar 3.20 Proses Pengujian Tarik

Adapun langkah-langkah proses pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Menyesuaikan ukuran benda uji sesuai standar ASTM D638.
2. Menyalakan unit komputer dan alat uji tarik yang saling terhubung untuk pengaturan proses pengujian.
3. Mengatur kecepatan tarik ke 5 mm/menit.
4. Memasang benda uji ke pencekam pada alat uji tarik dengan menyesuaikan tanda *up* dan *down*.
5. Menyalakan program *Zwick Test Xpert* pada computer.
6. Mengisi data material pada kolom *methode window*.

7. Membuat report screen yang terdiri dari nomor test, tanggal test, area, yield point, yield strength, elongation, max & break, dan nama material.
8. Memulai pengujian dengan meng-klik start pada tool box dengan grafik tegangan-regangan nya akan ditampilkan di monitor, setelah benda uji patah maka mesin akan otomatis berhenti.
9. Memilih data yang akan ditampilkan di lembaran hasil pengujian.
10. Mencetak hasil pengujian.
11. Melakukan pengujian berikutnya dengan benda uji yang berbeda.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dibuat grafik tegangan regangan, dengan nilai tegangan dan regangan diperoleh dari rumus :

1. Tegangan Tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (N/mm)} \dots\dots\dots (3.1)$$

2. Regangan Tarik

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

3. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{F.L_0}{A.\Delta L} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan : E = Modulus Elastisitas / modulus young (Mpa)

Lo = Panjang awal

ΔL = Penambahan panjang

F = Beban (N)

Ao = Luas area awal (mm²)

3.5.2. Pengujian Bending

Pengujian bending merupakan salah satu pengujian mekanik yang dilakukan terhadap spesimen dari bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung. Bending merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik, tepat ditengah dari bahan yang ditahan di atas dua tumpuan. Dengan pembebanan ini, material akan

mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang bekerja berlawanan pada saat yang bersamaan.

Proses pengujian bending memiliki dua macam pengujian, yaitu three point bending dan four point bending. Perbedaan dari kedua cara ini hanya terletak pada bentuk dan jumlah point yang digunakan, three point bending menggunakan dua point pada bagian bawah sebagai tumpuan dan satu point pada bagian atas sebagai penekan. Penelitian kali ini menggunakan three point bending sebagai metode pengujian bending. Pada Gambar 3.21 memperlihatkan proses uji bending.



Gambar 3.21 Proses Pengujian Bending

Proses pengujian bending tidak jauh berbeda dengan proses pengujian tarik, adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Menyesuaikan ukuran benda uji sesuai standar ASTM D790.
2. Menyalakan unit komputer dan alat uji bending yang saling terhubung untuk pengaturan proses pengujian.
3. Mengatur jarak span di 80 mm.
4. Mengatur kecepatan waktu proses ke 2 mm/menit.
5. Memasang benda uji pada alat uji bending.
6. Menjalakan program *Zwick Test Xpert* pada computer.
7. Mengisi data material pada kolom metode window.

8. Membuat report screen yang terdiri dari nomor test, tanggal test, tegangan dan regangan, jarak span, tebal & lebar material, dan nama material.
9. Memulai pengujian dengan meng-klik start pada tool box.
10. Memilih data yang akan ditampilkan di lembaran hasil pengujian.
11. Mencetak hasil pengujian.
12. Melakukan pengujian berikutnya dengan benda uji yang berbeda.

Untuk menghitung nilai kekuatan bending maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{3 PL}{2bd^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan : σ = Tegangan Lentur (MPa)

P = Beban/gaya yang terjadi (N)

L = Jarak point/span (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

d = Ketebalan spesimen (mm)

3.5.3. Pengujian Struktur Makro

Pengujian makro adalah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan suatu material. Pengujian makro ini biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Seperti logam, bahan hasil coran, dan material-material yang termasuk non metal.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa mikroskop optic usb yang terhubung dengan computer atau gadget untuk hasil fotonya.

Adapun langkah-langkah pengujian makro sebagai berikut :

1. Menempelkan optik pada dudukan yang sudah menempel di meja kerja.
2. Menyalakan komputer dan menghubungkan optik dengan komputer.
3. Membuka aplikasi optik yang sudah terinstall.
4. Meletakkan spesimen uji dibawah kamera optik dan memfokuskan kamera optiknya.

5. Mengambil gambar pada daerah hasil pengelasan yang akan diperbesar.
6. Mengulangi langkah-langkah diatas dengan mengganti spesimen menurut variasi yang ada.

3.6. Metode Analisis Data

Metode analisis data yang dilakukan adalah :

1. Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro sambungan dilakukan untuk mengetahui struktur makro sambungan hasil lasan FSW pada HDPE.

2. Uji Tarik

Pengujian tarik hasil lasan menggunakan standar ASTM D638. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum hasil lasan.

3. Uji Bending

Pengujian bending hasil lasan menggunakan standar ASTM D790. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan bending maksimum hasil lasan.

